



TITLE:

暑熱寒冷環境におけるサルの生理的反応(Ⅲ 共同利用研究 2 研究成果)

AUTHOR(S):

中山, 昭雄; 堀, 哲郎; 永坂, 鉄夫; 登倉, 尋実; 只木, 英子; 平井, 百樹

CITATION:

中山, 昭雄 ...[et al]. 暑熱寒冷環境におけるサルの生理的反応(Ⅲ 共同利用研究 2 研究成果). 霊長類研究所年報 1971, 1: 58-61

ISSUE DATE:

1971-09-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/160454>

RIGHT:

されているのかは大いに疑問である。

考察：以上を要約すると、2種の実験課題において、いずれも *discriminanda* と *manipulanda* との連合が困難であり、学習完成基準に達しなかった。遅延マッチングでは、尚早反応が、条件性継時弁別では *manipulanda* への異常な注意の集中が特異な傾向としてみられ、これらが学習完成を困難にしたと思われる。いずれの実験にも *discriminanda* への注意を一層喚起させる実験装置と手続が必要である。さらに、学習が困難な事態になると、位置偏好反応傾向や無反応傾向が顕著に示され、長期間持続される傾向がある。その他、長期にわたるサルの健康管理が重要である。

一般興奮レベルと刺激情報量の有効性(1)

井 深 信 男(東教大・教・心理)

従来の多くの研究は、自発的活動とある特定の刺激に対する接近調査活動ともいうべき探索行動を、概念的にも、実験的にも、明確に分離して来なかった。しかしながら、自発的活動と生体の覚醒レベルの関係を考えた時、覚醒レベルは、脳波、心搏、呼吸といったような生理的活動だけでなく、自発的活動にもよく反映される。この覚醒レベルと自発的活動性の関係は逆U字関数として表わされるだろう。それゆえ、外刺激の導入、中枢興奮剤の投与といったような覚醒レベルを上げるような操作は、ある範囲内で、自発的活動性を高めることが期待される。事実、今までの研究結果はこの仮説を支持するものが多い。一方、探索行動は、Berlyne の主張に従えば、外刺激をとり入れることによって、ある最適な覚醒レベルを維持する過程と考えられている。それゆえ、中枢神経興奮剤により一過的に覚醒レベルを上昇されたような動物は、そうでない動物とくらべた時、外刺激への接近探索行動は減ることが期待される。この仮説を支持する実験も数多く報告されている。このように自発的活動と探索行動を生体の覚醒レベルという点から考えた時、両者の行動メカニズムが異なることが示唆される。それゆえ、自発的活動性と探索行動を区別する必要がある。以上のような立場から、生体の覚醒レベルがアカゲザルの自発的活動と視覚的探索行動に及ぼす効果をみた。その時、覚醒レベルを上げる操作としてメタンフェタミンが用いられた。以下に実験の要約を示す。

メタンフェタミン (2 mg/kg, i.m.) のアカゲザル(10頭)の自発的活動性に及ぼす効果が、照明の明と暗両条件下で、活動性測定ケージで調べられた。メタンフェタミンと明条件は、ここではアカゲザルの一般興奮レベルを上げる操作として考えられた。その結果、アカゲザル

の自発的活動は、覚醒レベルが最も高いと仮定されるメタンフェタミン+明条件下で最大、覚醒レベルが最も低いと仮定されるリングル液+暗条件下で最低、メタンフェタミン+暗条件、リングル液+明条件での活動性は中位におちた。この実験では、一応自発的活動性は一般興奮レベルをよく反映していたといえる。

10頭のアカゲザルが点滅光(4%)と連続光を刺激として視覚的探索行動のテストを受けた。各刺激に対する接近行動の回数と時間が視覚的探索行動の測度とされた。同時に同じ装置内での自発的活動性がフォトビームを切る回数で記録された。その結果、点滅光は連続光とくらべて、刺激としての誘因価が高いということは証明されなかった。自発的活動と視覚的探索行動の相関には有意な差はみられなかった。両行動のメカニズムが異なることが示唆された。

この研究は下記の論文にまとめられた。

- 1) The influence of day-night cycles and the additive effects of methamphetamine and illumination on the spontaneous activity in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Primates*, 11, 101—111 (1970)
- 2) The relationship between visual exploratory behavior and spontaneous activity in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Primates*, 11, 201—214. (1970)

昭和45年度共同利用研究

暑熱寒冷環境におけるサルの生理的反応*

中山昭雄¹・堀 哲郎¹・永坂鉄夫²

登倉尋実³・只木英子⁴・平井百樹⁵

(¹名大・医・生理、²名大・環境医研、³霊長研、⁴金城大・家政・体育、⁵東大・理・人類)

*サルの温熱性代謝性反応の観察記録法 第16回中部生理学談話会(1970)
暑熱寒冷環境におけるニホンザルの生理的反応 第15回ブリーマース研究会(1971)

日本ザルの暑熱寒冷環境における生理的反応 第48回日本生理学会大会(1971)

ニホンザルは医学領域のみならず、心理学社会学の分野においても実験動物としてよく用いられるが、生理学的な研究は乏しく、特に温熱性・代謝性反応に関してはほとんど知られていない。霊長類は一般には熱帯性起源と思われるが、サルが多量の発汗をするとか、バンティングを行うという報告はない。一方ニホンザルは地球上でもっとも北限に住む種として知られている。そこでこのサルの温熱生理学的な特徴を明らかにし、他の熱帯産のサルと比較すれば、気候馴化の過程に何らかの手

がかりが得られるものと期待される。

暑熱寒冷環境において、どのように体温が調節されるかを4匹のニホンザルについて観察した。

研究方法

福井県で捕獲されたメス・オス各2匹のサルについて測定した。体重7.3~11.8kgで、オスの2匹は捕獲後約1年、メスは約3ヶ月、室温25°±3℃の動物室で飼育されている。実験中椅子に安静にしているよう、あらかじめ訓練した。測定日は朝食を与えない。代謝の測定法はHammel (1965)の方法とほぼ同じで、サルの頭部を透明なプラスチックのフードで覆い、これを20~24ℓ/分の速度で空気ポンプによって換気する。排気側に乾式ガス流量計をおいて流速を観察し、分析試料ガスは毎20分に5分間ダグラスバッグに採集した。酸素と二酸化炭素の測定はScholander分析器を用いた。酸素消費量と呼吸商から型の如き計算を行って代謝を算出した。安静時の呼吸商は約0.83であった。

呼吸気道からの蒸発水分は、ガスサンプル10ℓ中の水分をU字管につめた塩化カルシウムで吸収し、算出した。

直腸温 (Tre)、皮膚温は銅・コンスタンタン熱電対によって10分間隔で測定した。皮膚温は脱毛剤塗布または剃毛した体表8ヶ所(頭、胸、背、腕、手、大腿、下腿、足)で測定した。測定感度は0.1℃である。

動物の状態は人工気候室の小窓から観察するとともに、筋電図、心電図を記録した。記録中、サルの手首、足首をゆるく椅子のフレームに固定した。

4匹のサルの体表面積を実測した。ネプタール麻酔下で剃毛し、全身をテープで覆いこれを小片に切ってトレンシングペーパーに貼りつけ、覆われた紙の部分を取って秤量した。表面積既知の球についてこの方法を試みたところ、誤差は6.2%であった。結果を第1表に示す。

第1表 実験に用いた4匹のニホンザルの体表面積。

Subject		M-25	M-29	T-49	T-48
Sex		M	M	F	F
Body weight (kg)		11.8	11.2	8.0	7.3
Surface area (m ²)		0.6269	0.5985	0.5036	0.4760
proportion (%)		mean (%)			
head	8.8	9.6	9.4	10.7	9.63
chest	17.9	15.8	15.7	16.6	16.50
back	21.3	18.6	17.2	18.3	18.85
arms	15.5	17.4	17.6	17.3	16.95
hands	5.0	6.2	6.0	5.4	5.65
thighs	15.0	15.1	15.2	14.5	14.95
legs	8.4	9.0	9.6	9.0	9.00
feet	8.1	8.3	9.3	8.2	8.48

平均皮膚温 (\bar{T}_s) を算出するには、各部分が全体表に占める割合を係数として用いる。たとえばM-29については次の如くなる。

$$\bar{T}_s = 0.096T_{\text{head}} + 0.158T_{\text{chest}} + 0.186T_{\text{back}} + 0.174T_{\text{arms}} + 0.062T_{\text{hands}} + 0.151T_{\text{thighs}} + 0.09T_{\text{legs}} + 0.083T_{\text{feet}}$$

組織熱伝導度は次式で算出する。

$$\frac{\text{体表面からの熱放散}}{\text{体表面積} \times (T_{\text{re}} - \bar{T}_s)} \text{ kcal/(hr. m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

体表面からの熱放散は代謝量から呼吸気道による蒸発放熱量を差し引けばよい。なぜならば温熱性定常状態においては平均体温の変化がなく、蓄熱量の変化は0であるから。

結果

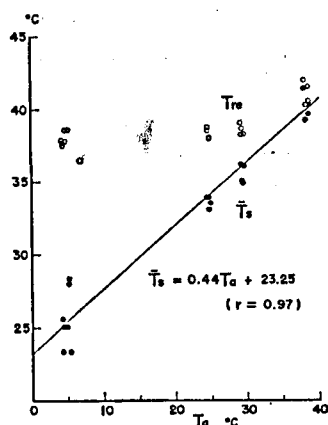
M-29を室温25.3℃から38.5℃の環境に移すと、 \bar{T}_s は最初の10分間に約3℃上昇し、引続き上昇して2時間で39.7℃となった。Tre も上昇し40.5℃となった。しかし皮膚表面は乾燥しており、バンティングも観察されなかったが、時に暴れて呼吸数が一過性に促進した。高温環境下でもサルが安静でいる限り代謝の変化は認められないが、やがて椅子をはげしくゆすぶって暴れるようになると代謝が増加し、直腸温も上昇する。そのためさらに暴れるという悪循環がおり、急激に危険な状態に陥る。T-48では暑熱暴露1時間でTre41℃以上となり、脈拍数は280/分となりEKGで期外収縮を認め、実験を中断した。

5℃の寒冷暴露では、10分以内にふるえが始まる。産熱量は次第に増加し、1時間以内で安静時の2倍以上となる。M-29では、130分で \bar{T}_s は23.4℃にまで低下したが、Treの低下はわずか1.1℃であった。立毛反射ははっきりとは認められない。皮膚温の低下は部位により3つに分けられる。頭と軀幹でははじめ3~4℃低下するが以後一定となる。腕と大腿、下腿は中等度の低下を示し、手と足では最も下降が著明で、2時間でそれぞれ6.9℃と6.5℃にまで下がった。

性別については例数が少ないが、傾向としてはふるえによる代謝の増加はオスに著明であり、高温下における直腸温の上昇はオスにおいて僅かであった。

体温：環境温 (T_a) に対して Tre と \bar{T}_s を目盛ったのが第1図で、 T_a : 5~30℃で Tre は37.0~39.0℃とよく調節されているが、 T_a 38℃になると40.4℃に上昇し、 \bar{T}_s との差は1℃以内となった。 \bar{T}_s と T_a の間には直線的な比例関係が認められる。

産熱量：29℃で安静時における平均酸素消費量は126ml/(m².min) STPDで、産熱量は36.6±7.2kcal/(m².



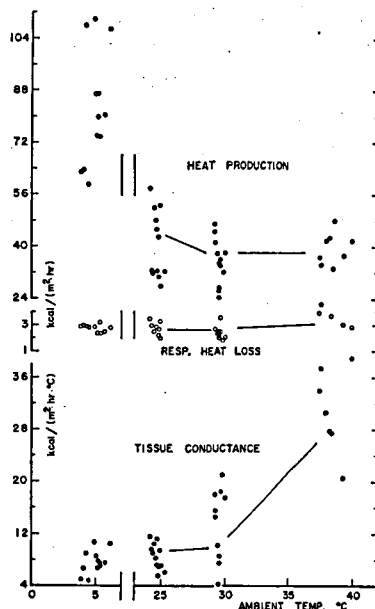
第1図

環境温 (T_a) と直腸温 (T_{re}), 平均皮膚温 (\bar{T}_s) の関係。第1, 2図は温熱平衡にある4匹のニホンザルから得た値で, 各点はある1匹についての1回の観測値である。

hr) であった。これは犬のそれにほぼ等しい(Hammel et al., 1958)。代謝の増加を示す臨界環境温は 22—29°Cで, \bar{T}_s : 32.5—35°Cに相当する (第2図)。

呼吸気道蒸発放熱量: 中間温度環境における放散水分量は 4.34g/(m².hr) で, 熱量にして 2.5kcal/(m².hr)。この値は全放熱量の 6.8%にあたる。38°Cの高温環境では約30%増加するが, パンティングは認められない。

組織熱伝導度: 室温25°C, 安静状態で 8.6kcal/(m².



第2図

環境温と産熱量, 呼吸気道からの放熱, 組織熱伝導度の関係。

hr.°C) であった。38°Cの環境では2~4倍に増加するが, 低温環境における減少は少くせいぜい15%である。伝導度の増加を示す臨界温度は T_a : 28.7°C, \bar{T}_s : 35°Cである。各環境温における生理的諸数値を第2表に示してある。

第2表 温熱定常状態におけるニホンザル (4匹平均) の生理的諸数値。

Ambient Temperature (°C)	5.1±0.1	24.7±0.1	29.4±0.1	38.2±0.1
Heat Production (kcal/(m ² .hr))	82.8±4.0	40.7±2.7	35.5±1.9	39.8±1.6
Respiratory Evaporative Heat Loss (kcal/(m ² .hr))	2.9±0.2	2.9±0.3	2.5±0.1	3.6±0.3
Tissue Conductance(kcal/(m ² .hr.°C))	7.7±0.5	8.6±0.5	13.6±1.4	31.4±2.1
Rectal Temperature(°C)	37.8±0.2	38.3±0.1	38.6±0.1	41.0±0.3
Mean Skin Temperature(°C)	25.5±0.7	33.6±0.1	35.6±0.1	40.1±0.4

考察と結語

以上の結果から明らかなごとく, ニホンザルは5°Cの寒冷暴露に対しては, ふるえによる著明な産熱反応をもって応じ, 直腸温の低下は極めて僅かである。組織熱伝導度の減少が極めて少ないことは, 25°C前後の室温において, すでに皮膚血管はかなり強く収縮していることを示し, 皮膚血流減少による熱放散の減少はヒトの場合と同じくあまり期待できない。

一方高温環境下では組織熱伝導度はいちじるしく大となった。 \bar{T}_s 35°C 以上では皮膚血液が増加するが, 発汗が少いため蒸発による冷却がなく, 有効な放熱とはならない。

ニホンザルは発汗とかパンティングの放熱機構を欠くために, 環境温の上限は39°Cである。同様の成績が最近リスザルについて報告されている (Nadel & Stitt, 1970; Stitt & Hardy, 1970)。それによると, 室温35°Cまで

水分放散量は増加しないが、38°Cになると6倍にも増加した。しかしその増加は手荒と足蹠の発汗増加によるものであって、しかもなお温熱平衡を保つには不十分であり、直腸温は40°C以上に上昇している。われわれの未発表の成績によれば、高温環境下においてニホンザルの一般体表面にも汗滴が認められるが、分泌速度は極めて小であった。

サルはその進化の過程において、強力な放熱機構の必要性に迫られることがなかったのかもしれない。しかしある種の動物では行動性温度調節がよく発達していることが知られているし、リスザルの視床下部を加温または冷却すると、冷風または温風を得るため適当なバーを押すことが報告されている(Adair et al., 1970)。自然の高温環境において、サルがどのようにして温熱平衡を保っているのか、今後明らかにすべき課題である。

文 献

1. Adair, E. R., Casby, J. U. and Stolwijk, J. A. J. (1970) Behavioral temperature regulation in the squirrel monkey: Changes induced by shifts in hypothalamic temperature. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 72, 17-27.
2. Hammel, H. T., Wyndham, C. H. and Hardy, J. D. (1958) Heat production and heat loss in the dog at 8-36°C environmental temperature. *Am. J. Physiol.*, 194, 99-108.
3. Hammel, H. T. (1965) One method for assessing cold tolerance: Thermal and metabolic responses to moderate whole body cold exposure at night. AAL-TR-64-32 (Arctic Aeromedical Lab. Tech. Report).
4. Nadel, E. R., and Stitt, J. T. (1970) Control of sweating in the squirrel monkey. *Physiologist*, 13, 267.
5. Stitt, J. T. and Hardy. (1970) Thermo-regulation in the squirrel monkey. *Physiologist*, 13, 316.

異常高温環境におけるニホンザルの生理的反応*

只 木 英 子 (金城大・家政・体育)
登 倉 尋 実 (霊 長 研)

*第71回日本獣医学会, 1971年発表

緒 言

比較的暑い日に、ケージ内のニホンザルを捕獲するために追いまわすと、時にサルの体温が40°C以上に上昇し、死亡することがおこる。この現象はニホンザルの体温調節機構によるものと考えられるが、ニホンザルの生理学的な研究は少なく、熱放散の機構については報告されていない。このことの解明の手がかりとして、ニホンザルを異常な高温環境に曝露し、生理的な反応を観察した。

方 法

1) 実験動物

体重6.4~12kgの雄3頭、雌1頭のニホンザルを使用した。正確な年齢は不明であるが、いずれも adult に達している。飼料は1頭あたり猿用固型飼料を1日1回150g、甘藷を週2回それぞれ50gずつ給餌した。飼育条件は温度25±3°C、湿度60±10%、6時点燈、18時消燈の人工明暗環境のもとで、1頭を1個の個室ケージ、または数頭で1集団をつくっているグループケージで飼育されていた。飲水は、1頭あたり個室ケージの場合は、1日1回約500ccの給水瓶を朝一ぱいに満して与え、グループケージの場合は自由にとらせた。実験当日は、飼料は与えず、水のみ与えた。

2) 直腸温、皮膚温の測定

直腸温は、サーミスターを直腸内約10cmの深さに挿入し、連続自動記録を行った。皮膚温は、脱毛剤で局部的に除毛した後、サーミスターを頭、胸、背、上腕、手掌、大腿、下腿、足蹠の8ヶ所に貼りつけ、1分毎の自動記録を行った。

3) 呼吸数、心拍数の測定

呼吸数の測定には、ゴムチューブの内腔に硫酸銅溶液を満して胸部に巻きつけ、呼吸によるゴムチューブの両端の抵抗値の変化を、ブリッジ回路を介して連続的に記録した。

心拍数は、10分毎に記録した心電図から数えた。

4) 体表面積の測定

実験終了後、直ちにサルの全身の毛を刈り取り、プースティックテープで、すき間なく覆った。この覆いのテープを小片にカットし、トレーシングペーパーに写しとり、重量を測ることから、体表面積を求めた。あらかじめ表面積のわかっているものでテストした結果、この方法による誤差は6.2%以内である。

5) 実験の実施

サルを primate chair に固定し、24~26°Cの中性温域で約1時間にわたり、上記の生理的反応を記録して、この値を対照値とした。その後、温度45°C、湿度33~40%に準備された簡易型人工気候室内に曝露し、サル